

## Open-source, low-cost, high-reliability solutions for digital imaging systems: example of a “dicom router”

### *Soluzioni “Open Source” per sistemi “Low Cost” e “High Reliability” per l’imaging digitale. L’esempio di un “dicom router”*

R. Gatta • F. Abeni • M. Buglione A. Peveri • F. Barbera • S. Tonoli • P. Fratta • S.M. Magrini

University Radiotherapy Department and “Istituto del Radio O. Alberti”, P.zza Spedali Civili di Brescia, I-25123 Brescia, Tel.: +39-030-3995271, Fax: +39-030-396700

Correspondence to: M. Buglione, Tel.: +39-030-3995271, Fax: +39-030-396700, e-mail: buglione@med.unibs.it

Received: 23 June 2006 / Accepted: 23 April 2007 / Published online: 13 December 2007

#### Abstract

**Purpose.** The purpose of this article is to illustrate a case where acquisition of digital imaging know-how by a modern radiotherapy division has helped to solve a technical problem while allowing substantial savings through the use of free and open-source resources. The problem was related to the necessity to route, with complex policies, the images produced by different digital imaging and communications in medicine (DICOM) sources within the department or in other divisions and/or hospitals.

**Materials and methods.** The problem was solved by using completely free, well-tested and stable technologies (PHP, Apache, MySQL, DCMTK OFFIS, Red Hat Linux 9A and Linux Fedora Core 4) and low-cost hardware to contain costs. In the development, we also considered integration of the routed images with the existing electronic clinical records.

**Results.** The system developed, called the dicom router, implemented two kinds of routing: manual and automatic, both oriented to link the images acquired with the existing electronic clinical records. System stability was enhanced in a second phase by using a low-cost hardware redundancy solution. The system has now been operating for 1 year and has proved the value of the technologies used.

**Conclusions.** The need to operate with more than one provider creates a series of integration issues, so that it becomes economically appealing to acquire internally the knowledge needed to interact more precisely with providers of big information technology (IT) solutions. This need is well catered for by open-source technologies, which are well documented and available to everyone. By using them, in-house IT technicians are able to implement valuable technical solutions for small- to medium-sized informatization problems, which would otherwise remain unsolved except with great economic efforts.

**Key words** Open source • DICOM • Low cost

#### Riassunto

**Obiettivo.** Scopo di questo lavoro è presentare un caso in cui l’acquisizione in seno ad un moderno reparto di radioterapia del “know how” relativo all’imaging digitale ha consentito di risolvere un problema con un cospicuo risparmio economico grazie all’utilizzo di risorse free ed open source. Il problema risolto è relativo alla necessità di instradare in maniera complessa immagini prodotte da differenti sorgenti DICOM provenienti dal reparto e da altri reparti e/o ospedali.

**Materiali e metodi.** Il problema è stato affrontato usando tecnologie gratuite (PHP, Apache, MySQL, DCMTK OFFIS, Linux Red Hat 9A e Linux Fedora Core 4), collaudate e stabili e sfruttando hardware di basso costo al fine di contenere le spese. Nella realizzazione si è inoltre considerato il problema dell’integrazione delle immagini acquisite nel sistema di cartelle cliniche informatizzate in uso nel reparto.

**Risultati.** È stato realizzato un dispositivo, detto dicom router, che implementa due tipologie di instradamento: automatica e manuale, entrambe orientate all’integrazione delle immagini acquisite con il sistema di cartelle cliniche informatizzate. L’aspetto legato all’instabilità dell’hardware è stato poi risolto con una tecnica di ridondanza dei dispositivi. Il sistema così prodotto, già operante da più di un anno presso il nostro reparto, ha avuto modo di provare la validità delle scelte tecnologiche.

**Conclusioni.** La necessità di operare con più fornitori crea una serie di problemi di integrazione per cui spesso diventa economicamente accattivante l’idea di acquisire in seno al reparto il “know how” per dialogare in maniera più precisa e disambigua con i fornitori di grandi soluzioni informatiche. Questa necessità ben si sposa con le possibilità offerte da tecnologie software open source ben documentate ed accessibili a tutti. Infatti, con l’uso di queste, il personale tecnico informatico in seno al reparto può implementare valide soluzioni per i piccoli/medi problemi di informatizzazione che, altrimenti, resterebbero insormontabili o economicamente molto impegnativi.

**Parole chiave** Open source • DICOM • Low cost

## Introduction

In the last few years, many clinical divisions that use digital imaging have felt an increasing need to “informatize” their processes to fully exploit the possibilities of medical imaging information systems [picture archiving and communication systems (PACS)] and enjoy the resulting benefits, mainly in terms of greater data availability. The commercial solutions offered by major vendors have qualitatively improved, but they often require substantial economical efforts. In recent years, however, new technologies have appeared in the field of information technology (IT), which allow substantial savings while maintaining the same level of product quality. This result is obtained thanks to the particular type of licence terms, the project conception and the developer’s attitude. The birth of these technologies (the most famous of which is probably Linux [1]) is the beginning not only of a new way of thinking software, but also of a new way of working and sharing knowledge [2]. This new scenario, together with increased information needs, provides a fertile environment for acquiring, directly in the clinical division, the competence and know-how necessary to manage digital imaging problems internally.

Here will describe a specific case that required the development of a system, called the dicom router, which is able to route in a complex manner digital diagnostic images, integrating them in the information system used in a modern radiotherapy division. This system allows radiographers to send images to the correct destinations with a single operation and to associate images from other divisions to the correct electronic clinical record by modifying the contents of the digital imaging and communications in medicine (DICOM) files [3].

## Materials and methods

To handle both diagnostic and therapeutic information within the information system, in 2004, our division bought a software programme for managing electronic clinical records (normally only text data) and a commercial DICOM-compliant PACS server (DICOMED P@CS WEB) for managing digital images. These solutions are integrated and allow diagnostic images to be added to a patient’s electronic clinical record.

The DICOM sources initially consisted of a GE ProSpeed S Fast computed tomography (CT) scanner, a Vidar scanner, two Precise Linac systems for portal images and two different contouring stations for digital reconstructed radiograph (DRR) images (PLATO and Oncentra MasterPlan). In addition, there is also a magnetic resonance imaging (MRI) scanner located in the hospital’s radiology division and a CD-ROM reader to view diagnostic images acquired at other hospitals.

Despite the presence of a good number of valuable, free open-source solutions [4–7], the need for a flexible, simply configurable, and quickly integratable system, combined with the presence of an IT technician, prompted us to devel-

## Introduzione

*Negli ultimi anni, in molti reparti clinici che trattano l’imaging digitale, si è osservato un aumento della necessità di informatizzare la filiera al fine di poter fruire delle potenzialità offerte dai sistemi informativi per immagini medicali (PACS) e dei benefici che ne derivano, soprattutto legati alla maggiore disponibilità dei dati. L’offerta di soluzioni informatiche da parte delle grandi aziende è qualitativamente migliorata ma a fronte di un impegno economico ancora molto elevato. Tuttavia, da qualche anno, parallelamente alle soluzioni tradizionali dei grandi gruppi produttori di software, si sono affermate sulla scena dell’Information Technology (IT) alcune tecnologie che consentono, per tipologia di licenza, per concezione progettuale, per mentalità dei realizzatori, di operare considerevoli economie mantenendo invariata la qualità di prodotto. La nascita di queste tecnologie (la più nota, probabilmente, è Linux [1]) è l’inizio non solo di un nuovo modo di “pensare” la realizzazione del software, ma anche di usarlo, condividendo in modo aperto le informazioni [2]. Questo nuovo contesto, unitamente alle sempre maggiori necessità informatiche, è terreno fertile per l’acquisizione in seno ai reparti clinici del “know-how” necessario a gestire, per quanto possibile internamente, le problematiche tecniche legate all’imaging digitale.*

*In accordo con quest’idea mostreremo un caso specifico che ha richiesto la creazione di un sistema, detto dicom router, in grado di veicolare in maniera complessa delle immagini diagnostiche digitali integrandole con il sistema informatizzato in uso in un moderno reparto di radioterapia. Tale sistema consente ai tecnici sanitari di radiologia (TSR), con un solo invio, di veder recapitate le immagini alle corrette destinazioni e di associare le immagini acquisite anche da altri reparti alla corretta cartella clinica informatizzata tramite la modifica del contenuto dei files DICOM [3].*

## Materiali e metodi

*Il reparto, al fine di gestire su supporto informatico le informazioni cliniche, diagnostiche e terapeutiche di ogni paziente, si è dotato nel 2004 di un sistema di cartelle cliniche informatizzate (per la gestione dei dati “testuali” dei pazienti) e di un PACS server commerciale DICOM compatibile (DICOMED P@CS WEB) per la gestione delle immagini digitali associate ai pazienti. Queste due architetture sono integrate e consentono di associare le immagini acquisite per un paziente alla sua cartella clinica informatizzata.*

*Le sorgenti DICOM inizialmente constavano di una TAC GE Prospeed S-Fast, uno scanner VIDAR, di due LINAC PRECISE per le immagini portali e due differenti sistemi di contornamento per le immagini DRR: PLATO e Oncentra Masterplan. Oltre a questi è da aggiungere anche una RMN di un reparto di radiologia dello stesso ospedale ed il supporto CD con il quale talvolta il paziente presenta delle immagini diagnostiche condotte presso altri ospedali.*

*In merito alla metodologia di sviluppo, nonostante siano già disponibili soluzioni open source e free molto valide*

op a solution ourselves by assembling the libraries and resources that are freely available on the Internet.

Based on the decision to use free solutions, we selected Red Hat Linux 9 and Linux Fedora Core 4 as operating systems (they are relatively immune to viruses and have attractive licence terms), the DCMTEK OFFIS [9] libraries as DICOM libraries, Apache 2.0.40 [10] as a Web server, MySQL 3.23.57 [11] as a database management system (DBMS) and PHP 4.3.9 [12] as scripting language. All these technologies were adopted not only because they are free, but also because they are stable, mature and flexible and sometimes also used by PACS vendors.

The hardware used is a personal computer (PC) with Intel Pentium IV processor, 256 megabyte random access memory (RAM), hard disk drive (HDD) 80 gigabyte and a PC with Pentium II processor, 128 megabyte RAM and HDD 40 gigabyte.

## Results

The system developed, called the dicom router, is able to acquire images from the division’s DICOM sources and to route them to the right targets. The system is also able to acquire images from the radiology division’s PACS and add them to the correct electronic clinical records. The information technologies adopted are organised in a classic stratified model. Proceeding upwards from the lowest level – the hardware – we find the operating system. At a higher level of abstraction, we find the dicom server, which acquires and sends DICOM images by using specific libraries, the DBMS, which stores information about the routed images, and the Web server, which enables the application level to manage the Web interface for routing images manually (Fig. 1).

Despite the fact that hardware quality is not high, a good level of reliability was achieved at little expense by replicating the same software configuration on both PCs. We thus obtained a redundant system that ensures a good level of reliability given the low likelihood of a double system crash. The two systems were realised and configured as a primary system (the one with the better hardware) and a secondary system (the one with worse hardware). The role of the secondary system is only to monitor the services of the primary

[4–7] di sistemi in grado di gestire in maniera complessa immagini DICOM, la necessità di disporre di un sistema facilmente adattabile a nuove esigenze e velocemente integrabile con quanto già presente e la disponibilità di un tecnico informatico, ha fatto preferire la realizzazione da zero del dispositivo, assemblando librerie e risorse liberamente disponibili in internet.

Coerentemente con la necessità di adottare soluzioni free, la scelta delle tecnologie adottate è stata la seguente: come sistemi operativi Linux RED HAT 9 e Linux Fedora Core 4 (grazie alla tipologia di licenza e alla scarsa attaccabilità da virus), le DCMTEK OFFIS [9] come librerie DICOM, APACHE 2.0.40 [10] come Web Server, MYSQL 3.23.57 [11] come DBMS e come linguaggio di scripting PHP 4.3.9 [12]. Tutte queste tecnologie sono state scelte in quanto ritenute particolarmente stabili, mature e flessibili tanto da essere talvolta adottate anche da aziende produttrici di sistemi PACS.

Infine, l’hardware utilizzato è stato un PC con processore Intel Pentium IV con 256 Mbytes di RAM e 80 Gbytes di HDD ed un PC con processore Pentium II, 128 Mbytes di RAM e 40 Gbytes di HDD.

## Risultati

È stato realizzato quindi un dispositivo, detto dicom router, in grado di ricevere le immagini acquisite dalle sorgenti DICOM del reparto instradandole automaticamente a tutti i corretti destinatari e ricevere le immagini provenienti dai sistemi PACS delle radiologie associandole alle corrette cartelle cliniche informatizzate. Le tecnologie informatiche adottate per creare il dicom router sono organizzate secondo il classico modello “stratificato”. A partire dal livello fisico identificato dall’hardware e salendo, tramite il sistema operativo, a livelli di astrazione superiori, sono collocati: il dicom server, che tramite apposite librerie fornisce gli strumenti per acquisire e spedire immagini in formato DICOM, il sistema di gestione della base di dati (DBMS), utile per memorizzare alcune informazioni relative agli studi transitati, ed il web server che consente al livello chiamato “applicativo” di gestire l’interfaccia web per l’instradamento manuale degli studi (Fig. 1).

In merito all’hardware nonostante quanto adottato non offra sufficiente qualità di componenti, un buon livello di af-

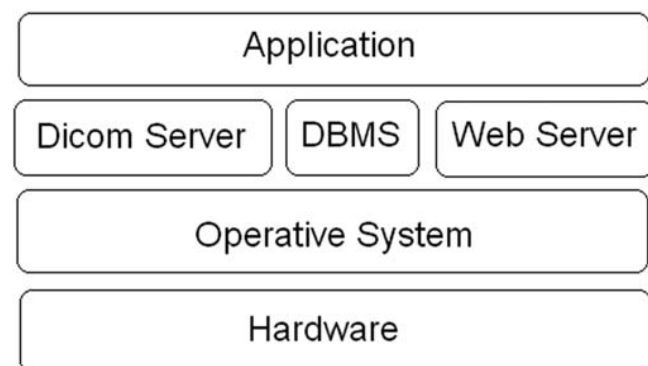


Fig. 1 Layered system model.

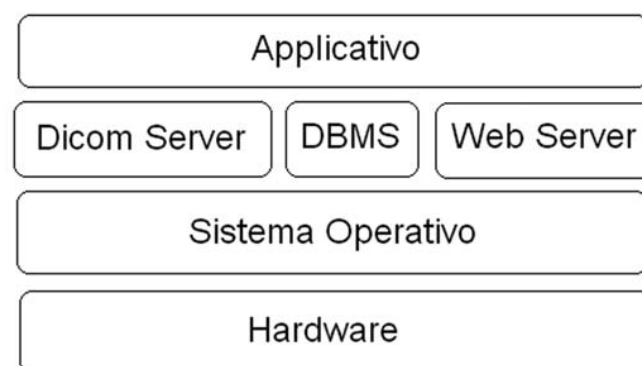


Fig. 1 Organizzazione a layer del sistema.

system and, when they fail, to shut the system down and take over its role as the primary system. This should allow the technician to solve the problems on the original primary system with a minimal denial of service (DOS) for users. In particular, the estimated DOS time in the case of a server crash ranges from 180 to 240 s, considered sufficient for the needs of our division.

To better understand the general system architecture, two aspects need to be considered: one relating to the routing architecture (manual and automatic), and one relating to the security architecture service (fault tolerance).

#### Architecture for automatic routing

According to the DICOM standard, a node in a DICOM network is identified by a triplet:

< IP address, AE title (AET) , TCP port >

This allows one to define a number of DICOM nodes on the same computer by modifying the parameters of the port and/or the AET. In our case, the options provided by the STORESCP command of the DCMTK libraries made this implementation possible, allowing us to define several DICOM nodes on our dicom router:

Node 1: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 105>

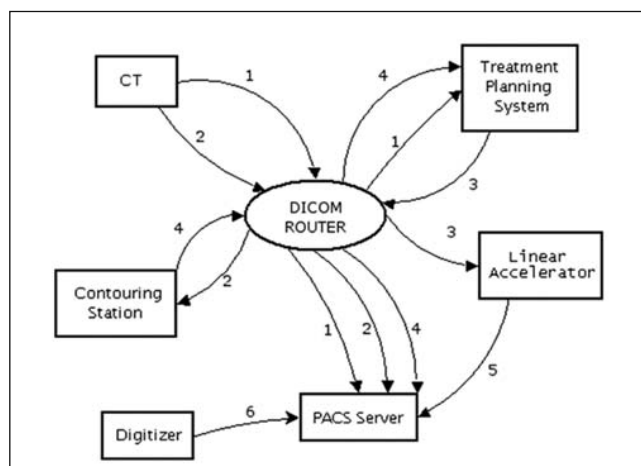
Node 2: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 106>

Node 3: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 107>

Node 4: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 108>

Node 5: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 109>

These different nodes manage the incoming images in different ways; thus, when a new DICOM source is connected to the network and wants to send images to a destination through the dicom router, it is sufficient to configure the node corresponding to the kind of routing wanted as a target on the source. This allowed us to plan the routing policies necessary to satisfy our division’s needs (Fig. 2).



**Fig. 2** The lines labelled ‘1’ indicate the routing of images coming from computed tomography (CT): as shown, they come in the dicom router and from there are sent to the treatment planning system and picture archiving and communication systems (PACS) server. Similarly, the lines labelled ‘2’ generated from CT, are routed by the dicom router to different targets (PACS server and a contouring station). Some of the other different routings available are also shown (3, 4, 5, 6).

**Fig. 2** Gli archi etichettati come “1” indicano l’instradamento di alcune immagini generate dalla TAC: come si può notare queste entrano nel dicom router ed escono in direzione del Treatment Planning System (TPS) e del PACS server. Analogamente, gli archi etichettati come “2”, sempre generati dalla TAC, entrano nel dicom router e, sfruttando un nodo DICOM differente dal precedente, vengono instradate verso altre destinazioni (PACS server ed una sistema di contouring contouring station). Nello stesso schema vengono rappresentati anche alcuni fra gli altri instradamenti che si sono resi necessari (3, 4, 5, 6).

*fidabilità è stato raggiunto, sempre contenendo i costi, replicando la configurazione software su entrambi i PC: così facendo si è realizzato un sistema ridondante che, vedendo ridotte al minimo la probabilità di un guasto contemporaneo di entrambi i PC, fornisce una sufficiente probabilità di disponibilità di servizio. Più nello specifico, i due sistemi sono stati realizzati e configurati come sistema primario (quello con hardware migliore) e sistema secondario (quello con hardware peggiore). Il ruolo del secondario è solo quello di monitorare i servizi del primario e, nel momento in cui questi non risultino correttamente funzionanti, forzarlo a spegnimento, se possibile, e prendere la sua identità diventando esso stesso primario. Ciò dovrebbe consentire al tecnico informatico di poter intervenire per risolvere i problemi che hanno afflitto il primario originale con un minimo disservizio (DOS, Denial Of Service) per gli utenti. In particolare, per il sistema proposto, si stima il DOS causato da un crash del server primario all’incirca in 180, 240 secondi, il che è ritenuto tollerabile per le esigenze del reparto.*

*Per meglio comprendere l’architettura del sistema generale considereremo separatamente l’aspetto legato all’architettura di instradamento (routing), sia manuale che automatica, e quello legato all’architettura di messa in sicurezza del servizio (fault tolerance).*

#### Architettura di routing automatico

Secondo lo standard DICOM un nodo della rete è identificato da una tripletta:

< indirizzo IP, AE Title (AET) , Porta TCP >

Ciò implica la possibilità di definire più nodi DICOM su una stessa macchina modificando la porta e/o l’AET. Nel nostro caso, le opzioni messe a disposizione dal comando STORESCP fornito dalle librerie DCMTK, hanno reso possibile questa implementazione, consentendo di realizzare un dicom router che consta di più nodi DICOM:

## Architecture for manual routing

Integration of a PACS system with the electronic clinical records system involves relating the information stored in the “Patient ID” DICOM tags (the <0010,0020> tag) on the images to the number of the patient’s clinical record to correctly match the images and clinical records. This is feasible only for images produced in our division; for images produced in other radiology divisions (in the same or in different hospitals), this is not possible. In fact, the tag “Patient ID” is normally filled, in different divisions, with specific information useful for the division itself. Thus, it is not possible for images produced outside our division to implement automatic routing because the images stored on the PACS server with a wrong “Patient ID” would be matched to the wrong electronic clinical record. The problem in these cases was solved by using manual routing. The images entering the dicom router from a particular port are stored on it, and by using a useful Web interface (hence the need for an “application layer” based on Apache, MySQL and PHP), the radiographer can modify the tag “Patient ID” and, if necessary, the tag “Patients Name” and specify the correct routing for the study (Fig. 3).

To make the job simpler, the interface was equipped with a microviewer (Fig. 4).

## Fault-tolerance architecture

Our approach to the reliability problem was based on redundancy techniques. This was fairly simple to solve because the main services offered do not rely on a database, so we did not have to tackle the problem of synchronising the database tables (a function provided by MySQL as of version 5.0). In our case, the only services requiring a database are collateral (the viewer and the manual routing interface), and the data have quite a short lifespan (no longer than 1 day).

Regarding DICOM routing services, the two computers were perfectly replicated in terms of services working on dif-

Nodo 1: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 105>  
 Nodo 2: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 106>  
 Nodo 3: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 107>  
 Nodo 4: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 108>  
 Nodo 5: <1.1.36.223, DICOM\_ROUTER, 109>

*Questi differenti nodi gestiscono le immagini in ingresso instradandole in maniera differente. Nel momento in cui una nuova sorgente DICOM si connette alla rete e vuole spedire immagini ad una destinazione tramite dicom router, basta configurare come destinatario, sulla sorgente, il nodo corrispondente al tipo di instradamento (routing) desiderato.*

*È stato così possibile creare un grafo degli instradamenti che soddisfacesse le necessità del reparto (Fig. 2).*

## Architettura di routing manuale

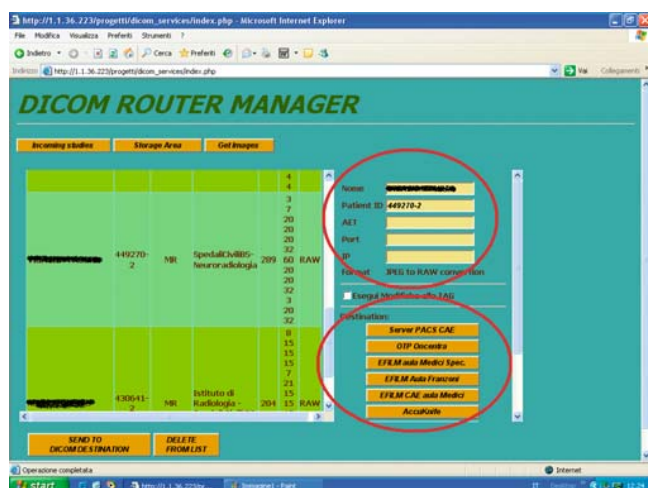
*La nostra integrazione fra PACS e sistema di cartelle cliniche informatizzate prevede che per associare correttamente le immagini ad una cartella clinica, le informazioni contenute nelle immagini DICOM (le “tag”) relative al “Patient ID” (in particolare le tag <0010,0020>) siano valorizzate con il numero di cartella clinica del paziente cui fa riferimento lo studio. Mentre ciò può essere ammissibile per le immagini prodotte all’interno del reparto, per le immagini prodotte presso altre Radiologie (anche dello stesso ospedale), questo non è possibile. Infatti le immagini DICOM vengono generate con informazioni di “Patient ID” valorizzate a valori utili per la radiologia di provenienza. Non è possibile, quindi, per immagini di questo tipo (come del resto anche per le immagini ottenute da CD di altri ospedali) pensare ad un routing automatico, in quanto verrebbero spedite al server ed associate a cartelle cliniche sbagliate. Il problema è stato risolto adottando in questi casi un routing manuale: le immagini che arrivano sul dicom router in una certa porta vengono inserite in una cartella e, tramite una comoda interfaccia grafica (da qui la necessità di un livello applicativo che sfruttasse Apache, Mysql e PHP), il tecnico sanitario modifica le tag “Patient ID” ed eventualmente la tag “Patient Name” (Fig. 3).*

*Per agevolare l’utente, inoltre, l’interfaccia è stata munita di un micro-visualizzatore delle immagini acquisite (Fig. 4).*

## Architettura di messa in “fault tolerance”

*La soluzione adottata per fornire un certo grado di affidabilità al sistema, come accennato precedentemente, è basata sulla ridondanza. Ciò è stato facilmente realizzabile in quanto i servizi principali del dicom router non si appoggiano a database, per cui non abbiamo dovuto gestire il problema legato alla sincronizzazione delle tabelle dei database (cosa peraltro prevista da MySQL a partire dalla versione 5.0). Le uniche funzioni che richiedono un database sono funzioni accessorie (visualizzatore, interfaccia per il routing manuale) che fanno comunque riferimento a dati la cui vita media del dato è breve (circa un giorno).*

*In merito, invece, ai servizi di DICOM routing le due macchine sono perfettamente replicate in termini di servizi operanti sulle diverse porte (entrambi hanno un servizio di*



**Fig. 3** Interface for modifying the digital imaging and communications in medicine (DICOM) tags and sending a study to different target nodes.

*Fig. 3* Sezioni per la modifica delle tag DICOM e della spedizione a differenti nodi.





**Fig. 4.** Viewer of acquired digital imaging and communications in medicine (DICOM) images.

*Fig. 4 Visualizzatore delle immagini DICOM acquisite.*

ferent transmission control protocol (TCP) ports (both have routing services with the same rules) but differ in one aspect: the Internet protocol (IP) address. The two PC are organised as follow: when the secondary server is not able to “ping” the primary server but is able to “ping” other servers in the network, it changes its IP address into that of the primary server, making itself identical (for the rest of the Net) to the primary server. Assuming that this case is compatible with a situation where the primary server is disconnected from the Net (due to damage, disc crashes or maybe a switch that has crashed somewhere), the identity substitution is operated in 180 s in the best case and 240 in the worst. Furthermore, both the primary and the secondary servers have an agent, scheduled to start every minute, that checks, through an EchoSCU command, the state of the DICOM services working on different ports. A bad output of this command is interpreted by the agent as a problem, so it forces the system to reboot (primary or secondary, depending on which is giving problems). Another rule requires that when the primary server is reconnected to the network after a temporally significant disconnection, it presents itself on the network with a third IP address and sends a signal to the server acting as the primary server to change its IP address and become a secondary server. Thus, if a primary server is turned on after a system crash or the switch damage has been repaired, we should not have a conflict of IP addresses in the network.

For security reasons, both computers are in a “security power area” driven by an uninterruptible power supply (UPS) with controlled shutdown after 3 min of power down fault.

## Discussion

The system developed demonstrated that the availability of free and open-source software that is stable and well tested

routing attivo secondo le stesse regole) ma si differenziano per un particolare: l’indirizzo IP.

La politica di gestione è la seguente: nel momento in cui il server secondario non avverte più la presenza del server primario ma solo quella di altri server nella rete (che fungono da “stelle fisse”), cambia il proprio indirizzo IP in quello del primario, rendendosi a tutti gli effetti identico ad esso per le sorgenti DICOM. Partendo dall’assunto che questa situazione si possa verificare quando per qualche motivo il server primario si sia scollegato dalla rete (perché guasto o per motivi di crash di switch), la sostituzione di identità è mediamente operata in 180 secondi, 240 nel caso peggiore. Oltre a ciò, sia sul primario che sul secondario ogni minuto è schedato il lancio di un agente che verifica, tramite un comando ECHOSCU, il corretto funzionamento dei servizi DICOM sulle differenti porte. Nel momento in cui il comando non riceve l’output corretto, il sistema, primario o secondario che sia, viene forzato al riavvio (reboot).

Nel momento in cui il server primario si accende o torna in rete dopo una sconnessione temporalmente rilevante, si affaccia alla rete con un altro indirizzo IP e manda un segnale all’eventuale server che ha l’indirizzo corretto del primario per forzarlo a cambiare indirizzo in quello del secondario. Fatto ciò, cambia il proprio indirizzo in quello del primario. Così facendo, se anche il server primario venisse riacceso, o l’ipotetico switch di rete venisse riparato, non correremmo il rischio di avere conflitti di indirizzi IP nella rete.

Inoltre, entrambe le macchine sono sotto gruppo di continuità con spegnimento (shutdown) pilotato oltre i 3 minuti di mancata alimentazione (power fault).

Il sistema così realizzato, opera ininterrottamente da più di un anno.

## Discussione

Il sistema, nel suo complesso, ha consentito di verificare che l’attuale disponibilità di software free, stabile e maturo, consente ad un qualunque reparto di attrezzarsi con del personale tecnico idoneo al fine di risolvere una serie di problematiche che, altrimenti, chiederebbero l’intervento di aziende esterne. Nel nostro caso, ad esempio la scelta del sistema operativo ha consentito un risparmio rispetto ad una soluzione più tradizionale Windows che, a parità di stabilità, avrebbe chiesto l’acquisto di una costosa licenza server. Inoltre, la quasi totale inattaccabilità da virus ha consentito un risparmio aggiuntivo (antivirus) e meno problemi pratici legati alla necessità di installare frequentemente patch per la stabilità dei sistemi Microsoft. Allo stesso modo, l’utilizzo dei due comuni PC per il ruolo di primario e secondario ha permesso l’acquisto di un PC di fascia economica per il primario e l’utilizzo di materiale dismesso per il secondario.

Un’altra importante economia è rappresentata dalla scelta delle librerie DICOM DCMTK Offis che ha consentito di avvalersi librerie testate, collaudate, facilmente integrabili all’interno di nuove applicazioni e molto ben supportate in

allows any division to equip itself with technical operators capable of solving problems that would otherwise require the vendors' involvement. In our case, for example, the choice of operating system allowed economic savings with respect to a Windows solution which, at the same stability level, usually requires an expensive server licence. Moreover, the absence of the various viruses traditionally present on a Windows platform allowed us to avoid the cost of the antivirus and the need to install the numerous Windows patches. At the same time, the choice of two “normal” PCs for the role of primary and secondary systems made it possible to keep the cost very low for the primary system and reuse an old PC as the secondary one.

Another important saving relates to the choice of the DICOM DCMTK libraries, which are stable, well tested, free, and so flexible as to be reusable with new applications.

The hidden cost related to hiring an IT technician is substantial but lower when compared with the daily cost charged by an external vendor. The advantages of this solution are not to be measured only in terms of savings but also in terms of quality: the daily presence of an in-house technician in the division increases his or her awareness of the division's needs and refines his or her ability to produce a good analysis and develop more efficient solutions.

The technical solution adopted, adequate for our aims, was evaluated concurrently with another possible routing technique that involves defining a single DICOM node and searching for the right routing policy on a database using source information as a key. Although more “elegant”, this method has some problems: it is more complex to implement, it allows only one possible routing for each source and is exposed to problems of concurrent access to a slow device (the fact that image acquisition is a fast process if compared with database consultation, the system could be slowed, leading to time out). In particular, in our tests, the simultaneous transmission of images from several multislice CT scanners caused a crash of the MySQLD daemon and, in a few cases, of the operating system.

The architecture adopted, with several DICOM nodes, was justified by its flexibility, simplicity and resulting stability. However, it suffers heavy limits in terms of the number of possible routing rules. In fact, we think it is reasonable to suppose that the creation of many DICOM nodes to be able to cope with many routing rules is not a good idea. Increasing the number of open ports, particularly when the system is stressed by several DICOM sources, could lead to the crash of some services. In our tests, we obtained good stability with 15 open ports, more or less double the number of ports we actually need. For this reason, we believe to have achieved, with good margins, system stability with respect to this problem.

## Conclusions

Compared with a few years ago, in a technological scenario that is continuously growing in several directions, the need to operate with more than one provider creates a

*termini di manualistica, evitando l'acquisto di costose licenze per le librerie DICOM.*

*I costi nascosti dati dall'adozione, in seno al reparto, di un informatico per la gestione dell'Information Technology (IT) hanno sì rappresentato un costo fisso ingente ma comunque basso se valutato rispetto al costo giornaliero di quanto richiesto da aziende esterne. I vantaggi di questa soluzione non sono misurabili solo in quantità di denaro risparmiata ma anche in qualità di soluzione realizzata: la presenza fissa di un informatico in reparto, infatti, fa sì che questi, essendo quotidianamente a contatto con il reparto, sia molto più consapevole delle esigenze degli utenti e conseguentemente più abile a condurre l'analisi e a fornire soluzioni efficienti.*

*La soluzione tecnica utilizzata, pur essendo utile agli scopi preposti, è stata valutata concorrentemente rispetto ad una tecnica alternativa di routing la quale prevedeva di definire un unico nodo DICOM e ricavare il tipo di instradamento in funzione della diagnostica di provenienza. Questo approccio alternativo, sicuramente più “elegante”, avrebbe però sofferto di alcuni problemi: una maggiore complessità di implementazione, la possibilità per una sorgente di aver associato solo un tipo di instradamento per le immagini prodotte e l'esposizione a problemi di accesso concorrente ad una risorsa lenta (infatti dato che l'acquisizione delle immagini può essere molto veloce rispetto ai tempi di consultazione di un database il sistema, acquisita l'immagine, troverebbe un collo di bottiglia su quest'ultimo nella ricerca dell'instradamento opportuno). In particolare, il secondo problema, con carichi di lavoro particolarmente pesanti, nei nostri test (più TC multislice che spedivano in contemporanea), si è tradotto in un crash del demone mysqld ed in alcuni casi in un crash del sistema operativo.*

*In merito a questa osservazione, la scelta routing adottata che prevede più nodi DICOM, si è giustificata sulla base del fatto che rappresenta una soluzione flessibile, leggera in termini di peso computazionale e semplice: da ciò ne deriva una intrinseca maggiore stabilità. L'unico elemento che potrebbe fungere da “soglia decisionale” sono i pesanti limiti dal punto di vista del numero di instradamenti possibili. È ragionevole supporre che, nel caso in cui si debbano gestire molte sorgenti con esigenze di instradamento troppo differenti, la scelta di creare molti nodi DICOM sul dicom router non sia percorribile. È intuitivo aspettarsi che, oltre un certo numero di porte aperte, soprattutto quando il sistema è sotto stress, si possano verificare dei DOS dovuti al crash di qualche servizio. Tuttavia, dati i nostri test, è risultata una ottima stabilità anche per quindici porte aperte e, dato che per le esigenze del reparto ne sono apparse più che sufficienti sei, riteniamo di essere con ottimi margini nella regione di stabilità del sistema rispetto a tale problema.*

## Conclusioni

*Rispetto a pochi anni addietro, in uno scenario tecnologico in continua ed eterogenea crescita, la necessità di operare con più aziende fornitrici crea una serie di problemi di inte-*

series of integration issues so that it becomes economically attractive to acquire internally the knowledge needed to interact more precisely with providers of IT solutions. This need is well catered for by the possibilities offered by open-source technologies, which are well documented and available to everyone. By using them, technical operators with no great experience are able to implement valuable technical solutions for small to medium informatization problems, which would otherwise remain unsolved except at considerable expense. On the basis of these two concepts, this project not only solved a specific technical problem, it also gave internal personnel hands-on experience of the possibilities that open-source technologies combined with internal know-how can offer, compared with the costly traditional solutions provided by the major IT companies.

*grazione per cui spesso diventa economicamente accattivante l'idea di acquisire in seno al reparto il “know how” per dialogare in maniera più precisa e disambigua con i fornitori di grandi soluzioni informatiche. Questa necessità ben si sposa con le possibilità offerte da tecnologie software open source ben documentate ed accessibili a tutti. Così facendo personale tecnico non eccessivamente “specializzato” può implementare valide soluzioni tecniche per i piccoli/medi problemi di informatizzazione che, altrimenti, resterebbero insormontabili o economicamente molto impegnativi. Sulla base di queste due linee ispiratrici, questo lavoro, oltre che rappresentare la soluzione ad un problema tecnico specifico, ha consentito al personale del reparto di “toccare con mano” le possibilità offerte dalle soluzioni open source associate al “know how” interno, rispetto alle classiche e dispendiose soluzioni offerte dalla grandi aziende.*

## References/Bibliografia

1. Linux project homepage. <http://www.linux.org>
2. OpenRad project homepage <http://www.openrad.com>
3. DICOM standard protocol homepage. ACR-NEMA Committee. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM): Version 3.0. National Electrical Manufacturers Association, 1993
4. <http://miniwebpacs.sourceforge.net/>
5. <http://diowave-vs.sourceforge.net/>
6. Saccavini C, Mosca P, Stramare R et al (2001) Low cost PACS system: an opensource project approach. Convegno Nazionale 2001 Sezione di Radiologia Informatica della SIRM
7. Hackländer T, Kleber K, Martin J, Cramer BM (2004) An open source toolbox for communication and correction of DICOM objects. InfoRAD. RSNA 2004, 90th Scientific Assembly and Annual Meeting, Chicago, USA
8. Red Hat homepage. [www.redhat.com](http://www.redhat.com)
9. Dicom Offis DCMTK library homepage. <http://dicom.offis.de>
10. Apache project homepage. [www.apache.org](http://www.apache.org)
11. Mysql project homepage. [www.mysql.com](http://www.mysql.com)
12. PHP project homepage. [www.php.net](http://www.php.net)